

天津市地方计量技术规范

JJF(津)93-2023

插入式电磁流量计校准规范

Calibration Specification of Insertion-type Electromagnetic
Flowmeters

2023-06-30 发布

2023-09-30 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

插入式电磁流量计校准规范

Calibration Specification of
Insertion-type Electromagnetic Flowmeters

JJF(津) 93-2023

归口单位：天津市市场监督管理委员会

主要起草单位：天津市计量监督检测科学研究院

本规范委托天津市计量监督检测科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

刘 明（天津市计量监督检测科学研究院）

马云峰（天津市计量监督检测科学研究院）

崔 越（天津市计量监督检测科学研究院）

李 坡（天津市计量监督检测科学研究院）

参加起草人：

刘 艳（天津市计量监督检测科学研究院）

李振涛（天津市计量监督检测科学研究院）

孙 伟（天津市计量监督检测科学研究院）

目 录

引 言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和计量单位	(1)
3.1 术语	(1)
3.2 计量单位	(2)
4 概述	(2)
4.1 工作原理	(2)
4.2 结构	(2)
4.3 用途	(2)
5 计量特性	(2)
5.1 示值误差	(2)
5.2 重复性	(3)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 标准器及配套设备	(3)
6.3 校准用气流	(4)
6.4 安装条件	(4)
7 校准项目和校准方法	(4)
7.1 校准项目	(4)
7.2 校准方法	(4)
8 校准结果的表达	(7)
9 复校时间间隔	(7)
附录 A 校准记录参考格式	(8)
附录 B 校准证书(内页)参考格式	(9)
附录 C 插入式电磁流量计校准不确定度评定实例	(10)

引言

本规范在 JJG 198-1994《速度式流量计检定规程》废止的背景下，根据插入式电磁流量计的生产、使用和校准现状，依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》编写。

本规范所用术语，除在本规范中专门定义的之外，均优先采用 JJF 1001《通用计量术语及定义》和 JJF 1004《流量计量名词术语与定义》。

本规范为首次制定。

插入式电磁流量计校准规范

1 范围

本规范适用于新制造、使用中以及修理后的插入式电磁流量计的校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJG 1033-2007 电磁流量计

JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示

凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包含所有的修订单）适用于本规范。

3 术语和定义

3.1 术语

3.1.1 传感器（sensor）

用于产生与流量成比例的感应电动势信号。

3.1.2 转换器（convertor）

将传感器输出的感应电动势信号转换成与流量成正比的标准输出信号的电路装置。

3.1.3 插入式电磁流量计（insertion-type electromagnetic flowmeter）

基于电磁感应原理，将带有电极的测量传感器插入到管道中，通过测量管道内特定位置的局部流速来推算整体流量的仪表。

3.1.4 流量计特征系数（meter characteristic coefficient）[JJG 1033-2007, 术语

3.3]

可通过修改其数值而改变流量计计量性能的参数。

注：

1. 对于不同厂家，该参数可以是转换器系数、传感器系数、修正系数或其他参数；
2. 该参数可能由一个或一组参数构成。

3.2 计量单位

3.2.1 体积单位：立方米，符号 m^3 ；或升，符号 L。

3.2.2 瞬时流量单位：立方米每小时，符号 m^3/h ；或升每分钟，符号 L/min。

3.2.3 流速单位：米每秒，符号 m/s 。

4 概述

4.1 工作原理

插入式电磁流量计是一种基于法拉第电磁感应原理测量导电介质流速的流量测量仪表。将传感器插入到被测管道的特定位置，当导电流体垂直流过传感器的工作磁场时，在其两端产生感应电动势，由此感应电动势可推算出被测导电流体的流量。

插入式电磁流量计一般可输出脉冲信号、模拟信号。

4.2 结构

插入式电磁流量计主要由测量探头、插入机构、转换器和测量管段组成。

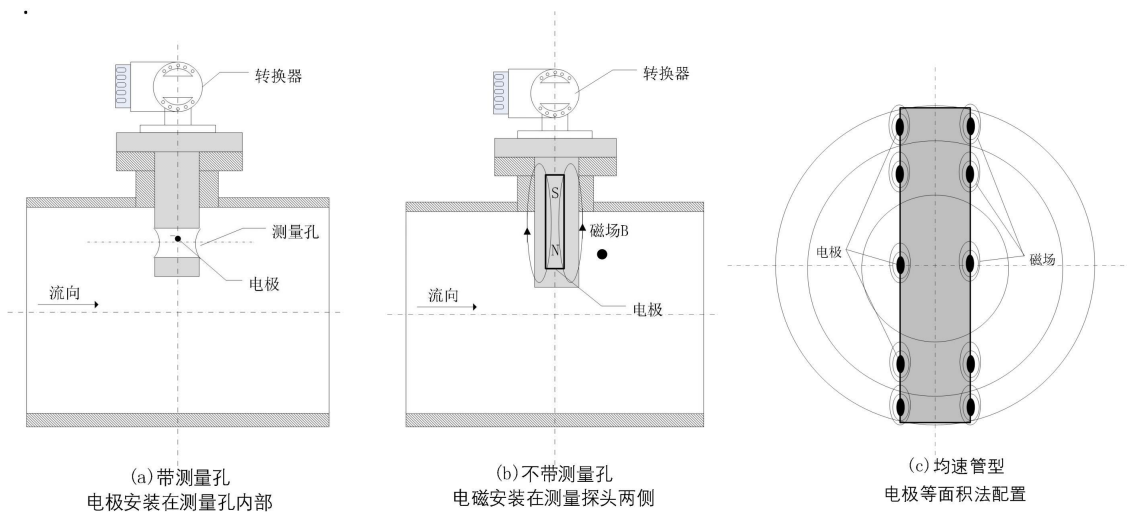


图 1 插入式电磁流量计的结构形式示意图

4.3 用途

插入式电磁流量计广泛应用于工业过程控制中各种导电液体的流量测量，例如自来水、钢铁、石油、化工、电力、食品、医药等领域，以及各种酸、碱、盐等腐蚀性介质。

5 计量特性

5.1 示值误差

插入式电磁流量计在规定的流量范围内，其相对示值误差应不超过相应准确度等级

规定的最大允许误差。

准确度等级和最大允许误差一般满足表 1 的规定。

表 1 流量计准确度等级和最大允许误差

准确度等级	1.0	1.5	2.5	4.0
最大允许误差	±1.0%	±1.5%	±2.5%	±4.0%

5.2 重复性

插入式电磁流量计的重复性应不超过其最大允许误差绝对值的 1/3。

注：以上指标不用于合格判定，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 大气环境条件一般应满足：

- 环境温度：(5~35)℃；
- 环境湿度：(15~85)%RH；
- 大气压力：(86~106)kPa。

6.1.2 外界磁场应小到对被测流量计的影响可忽略不计。

6.1.3 环境机械振动和噪声应小到对被测流量计的影响可忽略不计。

6.2 标准器及配套设备

测量标准器及其配套仪表均应具备有效的检定或校准证书。

6.2.1 标准器

液体流量标准装置，一般使用标准表法水流量标准装置，也可使用静态质量法水流量标准装置或容积法水流量标准装置，装置测量结果的扩展不确定度一般应不大于被校流量计最大允许误差绝对值的 1/3。

6.2.2 配套设备

配套设备测量范围应能满足流量计校准所需条件范围。

主要技术要求见表 2。

表 2 配套设备要求

序号	设备名称	技术要求	用途
1	温度传感器	$U=0.2^{\circ}\text{C} (k=2)$	测量标准器及被较流量计处的介质温度
2	压力传感器	0.5 级	测量标准器及被较流量计处的介质压力

6.3 校准用流体

6.3.1 校准用液体一般采用不夹杂空气、无纤维以及其他可见颗粒等物质的清洁水，电导率应满足被校流量计工作要求。

6.3.2 校准过程中介质应充满整个试验管道，且为单相、稳定、无漩涡流动。

6.3.3 校准用液体温度范围应在 $5^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ 之间，每个流量点的单次校准过程中，液体温度变化应不超过 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

6.4 安装条件

6.4.1 流量计安装对上下游直管段的要求

根据被校流量计使用说明书的要求确定流量计上、下游直管段长度。

若说明书中没有明确要求，一般应满足上游直管段长度至少 10 倍公称通径(10DN)、下游直管段长度至少 5 倍公称通径 (5DN)。

6.4.2 当传感器垂直安装时，传感器轴线与被测管段垂直直径的夹角应小于 5° ，此方法适用于测量管道振动较小的情况。

6.4.3 当传感器倾斜安装时，传感器轴线与被测管段轴线的夹角应为 45° ，此方法适用于大口径液体流量的测量。

6.4.4 安装时应使流量计标志的流向与流体流动方向一致。

6.4.5 传感器的插入深度可参照仪表使用说明书的要求。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

示值误差和重复性的校准。

7.2 校准方法

7.2.1 校准前检查

- 7.2.1.1 流量计外观应完好，无明显影响测量的损坏现象。
- 7.2.1.2 流量计连接件连接应牢固、可靠，接口处无泄露。
- 7.2.1.3 电源和信号线缆应完好无破损，无虚接等现象。
- 7.2.1.4 按说明书要求安装好流量计，上电、预热。
- 7.2.2 示值误差的校准
- 7.2.2.1 检查流量计参数设置，进行零点校准。
- 7.2.2.2 使介质流过流量计，保持流量计正常运行状态，等待介质温度、压力、流量稳定后方可开始正式校准。

7.2.2.3 校准点选择

校准流量点一般可按流速选取，通常可选 1m/s、3m/s、5m/s。

当用户有要求时可根据装置测量范围和流量计使用范围另行确定。

校准过程中，每个流量点的实际校准流量与设定流量点的偏差一般应不超过设定流量的±5%。

7.2.2.4 校准次数

一般每个流量点校准不少于 6 次。

7.2.3 校准程序

- 7.2.3.1 将流量调节到规定的流量值，待流量、压力、温度稳定。
- 7.2.3.2 记录标准器和被校流量计的初始示值（或者清零），同时启动标准器（或标准器的记录功能）和被校流量计（或被校流量计的信号输出功能）。
- 7.2.3.3 运行特定时间后，同时停止标准器（或标准器的记录功能）和被校流量计（或流量计的信号输出功能），记录标准器和被校流量计的最终示值。
- 7.2.3.4 分别计算标准器和被校流量计的累积流量或瞬时流量。

7.2.4 相对示值误差的计算

- 7.2.4.1 流量计单次测量的相对示值误差，计算公式为：

$$E_{ij} = \frac{Q_{ij} - (Q_s)_{ij}}{(Q_s)_{ij}} \times 100\% \quad (1)$$

或

$$E_{ij} = \frac{q_{ij} - (q_s)_{ij}}{(q_s)_{ij}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

E_{ij} ——第 i 校准点第 j 次校准的相对示值误差, (%) ;

Q_{ij} ——第 i 校准点第 j 次校准时被校流量计显示的累积流量, m^3 ;

$(Q_s)_{ij}$ ——第 i 校准点第 j 次校准时标准器换算到被校流量计处状态下的累积流量, m^3 。

q_{ij} ——第 i 校准点第 j 次校准时被校流量计显示的瞬时流量, 一般为校准过程中多次读取的瞬时流量的平均值, m^3/h ;

$(q_s)_{ij}$ ——第 i 校准点第 j 次校准时标准器换算到被校流量计处状态下的瞬时流量, m^3/h 。

(1) 被校流量计输出脉冲信号时, Q_{ij} 可以通过下式计算:

$$Q_{ij} = \frac{N_{ij}}{K} \quad (3)$$

式中:

N_{ij} ——第 i 校准点第 j 次校准时被校流量计输出的脉冲数;

K ——流量计仪表系数, 单位体积的流体流过流量计时输出的脉冲数, 一般标注在流量计铭牌或说明书中, L^{-1} 。

使用标准表法水流量标准装置进行校准时, 式 (1) 中标准器示值 $(Q_s)_{ij}$ 可按下式计算:

$$(Q_s)_{ij} = (V_s)_{ij} [1 - \beta(\theta_s - \theta_m)] \times [1 + \kappa(p_s - p_m)] \quad (4)$$

式中:

$(V_s)_{ij}$ ——第 i 校准点第 j 次校准时标准器测得的实际体积流量, m^3 ;

β ——校准状态下介质的体膨胀系数, $^{\circ}\text{C}^{-1}$;

θ_s, θ_m ——分别为第 i 校准点第 j 次测量时标准器和流量计处的介质温度, $^{\circ}\text{C}$;

κ ——校准状态下介质的压缩系数, Pa^{-1} ;

p_s, p_m ——分别为第 i 校准点第 j 次测量时标准器和流量计处的介质压力, Pa 。

当 θ_s 与 θ_m 之差小于 5°C , 且 p_s 与 p_m 之差不大于 0.1MPa 时, 公式 (4) 可简化为:

$$(Q_s)_{ij} = (V_s)_{ij} \quad (5)$$

(2) 被校流量计输出模拟信号时, 应按生产厂家或说明书规定的方法计算 q_{ij} 。当采用毫安信号输出时, 通常可按下式进行计算:

$$q_{ij} = \frac{I_{ij} - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} q_{\max} \quad (6)$$

式中:

I_{ij} ——第 i 校准点第 j 次校准时流量计输出电流值, 通常为多次测得的平均值, mA ;

I_{max} ——流量计输出信号范围上限值，mA；

I_{min} ——流量计输出信号范围下限值，mA；

q'_{max} ——流量计输出 I_{max} 时对应的流量值， m^3/h 。

此时公式（2）中 $(q_s)_{ij}$ 由下式计算，

$$(q_s)_{ij} = \frac{(Q_s)_{ij}}{t} \times 3600 \quad (7)$$

式中：

t ——校准时间，s。

（3）当被校流量计无信号输出时，可通过直接读取流量计累积流量的方法进行试验，其相对示值误差通过公式（1）计算。

7.2.4.2 流量计各流量点的相对示值误差通过下式计算：

$$E_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n E_{ij} \quad (8)$$

式中：

E_i ——第 i 校准点的相对示值误差，%；

n ——第 i 校准点的校准次数。

7.2.5 重复性计算

对校准点进行 n 次重复测量时，该校准点相对示值误差的重复性可用公式（9）计算：

$$(E_r)_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (E_{ij} - E_i)^2} \times 100\% \quad (9)$$

其中：

$(E_r)_i$ ——第 i 校准点 n 次测量的重复性，%。

8 校准结果的表达

校准记录和校准证书参考格式见附录 A 和 B。

校准结果的不确定度评定实例见附录 C。

9 复校时间间隔

复校时间间隔由流量计本身的性能、使用频率、使用环境等诸多因素决定，使用单位可根据流量计实际使用情况合理决定复校时间间隔。建议不超过 1 年。

附录 A

校准记录参考格式

送校单位: _____
 生产单位: _____
 器具名称: _____ 型号/规格: _____ 仪器编号: _____
 环境温度: _____ °C 环境湿度: _____ %RH 大气压力: _____ kPa
 校准依据: _____ 校准地点: _____ 证书编号: _____
 校准人员: _____ 核验人员: _____ 校准日期: _____

校准使用的标准器信息:

设备名称	型号/规格	设备编号	测量范围	准确度等级/最大允许误差/扩展不确定度 ($k=2$)	证书编号	有效期

校准记录

管道口径:		安装方式: <input type="checkbox"/> 垂直安装 <input type="checkbox"/> 倾斜安装				插入深度: <input type="checkbox"/> $\frac{1}{8}D$ <input type="checkbox"/> $\frac{1}{2}D$ 其他: _____		
流量点 (m^3/h)	标准器 示值 (m^3)	被校表 示值 (m^3)	测量 时间 (s)	介质 温度 (°C)	示值 误差 $E_{ij}(\%)$	平均 误差 $E_i(\%)$	重复性 $E_r(\%)$	相对扩展不确 定度 $U_{rel}(k=2)(\%)$

——以下空白——

附录 B

校准证书（内页）参考格式

流量点 (m ³ /h)	示值误差 E_{ij} (%)	平均误差 E_i (%)	重复性 E_r (%)	相对扩展不确定度 $U_{rel}(k=2)$ (%)

——以下空白——

附录 C

插入式电磁流量计校准不确定度评定实例

C.1 概述

C.1.1 测量条件:

校准介质: 水; 标准器处水温: 18.5℃; 被测表处水温: 18.0℃; 环境温度: 20.2℃; 环境湿度: 52%RH。

C.1.2 标准器:

标准表法水流量标准装置, 相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}=0.16\% (k=2)$;

温度传感器: 测量范围(0~30)℃, 扩展不确定度 $U=0.2^\circ\text{C} (k=2)$;

压力传感器: 测量范围(0~1)MPa, 0.5级。

C.1.3 被校对象:

插入式电磁流量计, 测量管道口径 DN100mm, 准确度等级 1.0 级, 选取 3m/s 流速点作为校准流量点, 此时瞬时流量 85m³/h。

C.1.4 测量方法及过程:

本次校准使用标准表法水流量标准装置对插入式电磁流量计的累积流量进行校准, 流量计输出脉冲信号, 脉冲当量为 100(L⁻¹)。根据说明书要求将流量计安装好, 按 7.2 所述程序完成试验, 并做好记录。

C.2 数学模型

C.2.1 对于单次测量, 流量计相对示值误差的计算公式为

$$E_{ij} = \frac{Q_{ij} - (Q_s)_{ij}}{(Q_s)_{ij}} \times 100\% \quad (\text{C.1})$$

式中:

E_{ij} ——为被测流量计第 i 个校准点第 j 次校准的相对示值误差, %;

Q_{ij} ——为被测流量计第 i 个校准点第 j 次校准时的累积流量, m³;

$(Q_s)_{ij}$ ——为第 i 个校准点第 j 次校准时标准器的累积流量换算到流量计处状态下的累积流量值, m³。

C.2.2 实验数据

对被校流量点连续测量 6 次，测量结果如下：

流量点 (m ³ /h)	累计脉冲数 (P)	显示值 Q_m (L)	标准值 Q_s (L)	相对示值误差 (%)	平均误差 (%)
85.0	257788	2577.88	2552.789	+0.98	+0.93
	258712	2587.12	2567.864	+0.75	
	258213	2582.13	2558.753	+0.91	
	259634	2596.34	2566.668	+1.16	
	258846	2588.46	2563.938	+0.96	
	258827	2588.27	2566.902	+0.83	

C.2.3 标准器累积流量测量的标准不确定度分析

标准器累积流量换算到流量计处状态下的累积流量值可通过下式计算：

$$(Q_s)_{ij} = (V_s)_{ij}[1 - \beta(\theta_s - \theta_m)] \times [1 + \kappa(p_s - p_m)] \quad (\text{C.2})$$

其中：

$(V_s)_{ij}$ ——第 i 校准点第 j 次校准时标准器测得的实际体积流量，L；

β ——校准介质在校准状态下的体膨胀系数，取 $2 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ；

θ_s, θ_m ——分别为第 i 校准点第 j 次校准时标准器和流量计处的介质温度， $^\circ\text{C}$ ；

κ ——校准介质在校准状态下的压缩系数， P_a^{-1} ；

p_s, p_m ——分别为第 i 校准点第 j 次测量时标准器和流量计处的介质压力，Pa。

对于体积流量 $(Q_s)_{ij}$ 的计算，由于水的体积压缩系数很小，并且实验过程中压力变化很小，可将水看作不可压缩流体，因此公式 (C.2) 可简化为：

$$Q_s = V_s[1 - \beta(\theta_s - \theta_m)] \quad (\text{C.3})$$

那么标准器累积流量引入的标准不确定度为：

$$u_c^2(Q_s) = c^2(V_s)u^2(V_s) + c^2(\beta)u^2(\beta) + c^2(\theta_s)u^2(\theta_s) + c^2(\theta_m)u^2(\theta_m) \quad (\text{C.4})$$

灵敏度系数分别为：

$$c(V_s) = 1 - \beta(\theta_s - \theta_m)$$

$$c(\beta) = -V_s \cdot (\theta_s - \theta_m)$$

$$c(\theta_s) = -V_s \cdot \beta$$

$$c(\theta_m) = V_s \cdot \beta$$

C.2.4 标准不确定度分量的计算

C.2.4.1 校准用液体流量标准装置的不确定度 $u(V_s)$ 和灵敏系数 $c(V_s)$

根据装置溯源证书可知，液体流量标准装置的扩展不确定度为： $U_{\text{rel}}=0.16\%$ ， $k=2$ ；

则装置带来的相对标准不确定度 $u_r(V_s)=0.08\%$ ，

以实际测量点的实验数据为例，此时标准示值的平均值为 2562.819L，则：

$$u(V_s) = 2562.819 \times 0.08\% = 2.05\text{L}$$

灵敏度系数：

$$c(V_s) = 1 - \beta(\theta_s - \theta_m) = 1 - 2.0 \times 10^{-4} \times (18.5 - 18.0) \approx 1$$

C.2.4.2 介质体膨胀系数的不确定度 $u(\beta)$ 和灵敏系数 $c(\beta)$

查阅资料，通常水温在 $(0\sim 30)^\circ\text{C}$ 范围内时，水的体膨胀系数的界限为： $\pm 0.5 \times 10^{-4}^\circ\text{C}^{-1}$ ，假定满足矩形分布，则：

$$u(\beta) = \frac{0.5 \times 10^{-4}}{\sqrt{3}} = 2.89 \times 10^{-5}^\circ\text{C}^{-1}$$

灵敏度系数：

$$c(\beta) = -V_s \cdot (\theta_s - \theta_m) = -2562.819 \times (18.5 - 18.0) = -1281.410(\text{L} \cdot ^\circ\text{C})$$

C.2.4.3 标准器处液体温度引入的不确定度 $u(\theta_s)$ 和灵敏系数 $c(\theta_s)$

水温测量所用温度传感器的扩展不确定度 $U=0.2^\circ\text{C}$ ($k=2$)，则标准表处介质温度测量带来的标准不确定度：

$$u(\theta_s) = \frac{0.2}{2} = 0.1^\circ\text{C}$$

灵敏度系数：

$$c(\theta_s) = -V_s \cdot \beta = -2562.819 \times 2 \times 10^{-4} = -0.513(\text{L} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$$

C.2.4.4 被检流量计处介质温度测量引入的不确定度 $u(\theta_m)$ 和灵敏系数 $c(\theta_m)$

水温测量所用温度传感器的扩展不确定度 $U=0.2^\circ\text{C}$ ($k=2$)，则被校表处介质温度测量带来的标准不确定度：

$$u(\theta_m) = \frac{0.2}{2} = 0.1^\circ\text{C}$$

灵敏度系数：

$$c(\theta_m) = V_s \cdot \beta = 2562.819 \times 2 \times 10^{-4} = 0.513(\text{L} \cdot \text{C}^{-1})$$

C.2.5 合成标准不确定度的计算

表 C.1 标准不确定度分量一览表

序号	不确定度来源	灵敏度系数 C_i	不确定度分量 $u(x_i)$	标准不确定度 $ C_i u(x_i)$
1	液体流量标准装置带来的不确定度	1	2.05	2.05
2	介质体膨胀系数带来的不确定度	-1281.410	2.89×10^{-5}	0.037
3	标准器处液体温度引入的不确定度	-0.513	0.1	0.051
4	被检流量计处液体温度引入的不确定度	0.513	0.1	0.051

将上述结果带入公式 C.4 得到标准累积流量的合成不确定度：

得到： $u_c(Q_s) = 2.052\text{L}$ 。

那么标准器累积值的相对合成不确定度为：

$$u_{rc}(Q_s) = \frac{u_c(Q_s)}{Q_s} = \frac{2.052}{2562.819} = 0.08\%$$

C.2.6 重复测量引入的标准不确定度

根据 C.2.2 的实验结果，利用贝塞尔公式求得单次测量的标准偏差为：

$$s(E_i) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^6 (E_{ij} - E_i)^2}{(6-1)}} = 0.14\% \quad (\text{C.5})$$

实际测量以 6 次测量结果的平均值给出实验结果，因此，重复测量引入的示值误差的相对标准不确定度为：

$$u_r(E_i) = 0.14\% \times \frac{1}{\sqrt{6}} = 0.06\%$$

C.2.7 校准结果的合成标准不确定度

考虑重复测量带来的不确定度，则该流量点校准结果的合成标准不确定度为：

$$u_{rc}(E_i) = \sqrt{u_{rc}(Q_s)^2 + u_r(E_i)^2} = \sqrt{(0.08\%)^2 + (0.06\%)^2} = 0.10\%$$

C.3 校准结果的相对扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则校准结果的相对扩展不确定度为：

$$U_r(E) = k \times u_{rc}(E) = 0.20\%$$

